

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-100710

(43)Date of publication of application : 04.04.2003

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065

(21)Application number : 2002-210081

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 18.07.2002

(72)Inventor : TANABE HIROSHI  
OKUMURA TOMOHIRO  
IMAI HIROSHI

(30)Priority

Priority number : 2001219642

Priority date : 19.07.2001

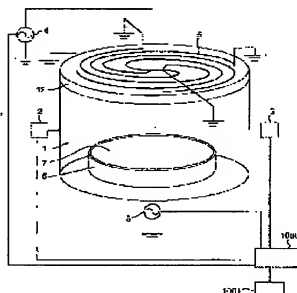
Priority country : JP

## (54) METHOD AND APPARATUS FOR DRY ETCHING

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dry etching method which quickly enables deep cutting into a substrate of an InP compound semiconductor, and a device.

SOLUTION: As the pressure of an etching gas in a reaction chamber is controlled to a prescribed value while supplying/exhausting the gas to/from the chamber, a plasma is generated in the reaction chamber by applying high frequency power of 13.56 MHz or more to a plane-shaped spiral discharge coil 5 or an antenna 15 arranged facing the InP compound semiconductor substrate 7 loaded on a substrate electrode 6 in the reaction chamber, and as the density of the plasma and ion energy reaching the substrate are controlled, the substrate is etched.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

14.07.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-100710

(P2003-100710A)

(43)公開日 平成15年4月4日(2003.4.4)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 L 21/3065

識別記号

F I

H 0 1 L 21/302

テーマコード<sup>\*</sup>(参考)

1 0 5 A 5 F 0 0 4

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 17 頁)

(21)出願番号 特願2002-210081(P2002-210081)

(22)出願日 平成14年7月18日(2002.7.18)

(31)優先権主張番号 特願2001-219642(P2001-219642)

(32)優先日 平成13年7月19日(2001.7.19)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 田辺 浩

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(73)発明者 奥村 智洋

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内

(74)代理人 100062144

弁理士 青山 葆 (外2名)

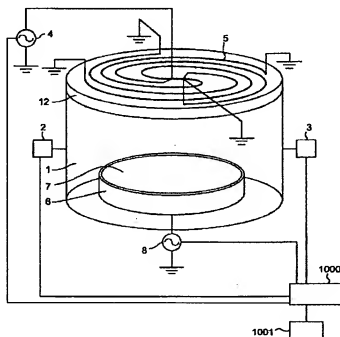
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ドライエッチング方法及び装置

(57)【要約】

【課題】 I n P系化合物半導体の基板に対して深堀加工を迅速に行うことができるドライエッチング方法及び装置を提供する。

【解決手段】 反応室1内にエッチングガスを供給しつつ排気して所定圧力に制御しながら、反応室内の基板電極6に載置されたI n P系化合物半導体の基板7に対向して設けられた平面状渦形放電コイル5又はアンテナ15に13、56MHz以上の高周波電力を印加して反応室内にプラズマを発生させ、プラズマの密度及び基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、基板をエッチングする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 反応室(1)内にエッチングガスを供給しつつ上記反応室内を排気し、上記反応室内を所定の圧力に制御しながら、上記反応室内の基板電極(6)に設置されたInP系化合物半導体の基板(7)に対向して設けられた平面状渦形放電コイル(5)に13.56MHz以上の高周波電力を印加することにより、上記反応室内にプラズマを発生させ、上記放電コイルに印加する上記高周波電力により上記プラズマの密度を制御するとともに、この制御とは独立して、上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加することで上記InP系化合物半導体の基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、上記InP系化合物半導体の基板をエッチングするとともに、上記エッチングガスとして、活性化水素ガスと不活性ガスとの混合ガスを用いるドライエッチング方法。

【請求項2】 反応室(1)内にエッチングガスを供給しつつ上記反応室内を排気し、上記反応室内を所定の圧力に制御しながら、上記反応室内の基板電極(6)に設置されたInP系化合物半導体の基板(7)に対向して設けられた平面状アンテナ(15)に13.56MHz以上の高周波電力を印加することにより、上記反応室内にプラズマを発生させ、上記アンテナに印加する上記高周波電力により上記プラズマの密度を制御するとともに、この制御とは独立して、上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加することで上記InP系化合物半導体の基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、上記InP系化合物半導体の基板をエッチングするとともに、上記エッチングガスとして、塩素又は臭化水素又は塩化水素を含むガスと不活性ガスとの混合ガスを用いるドライエッチング方法。

【請求項3】 上記エッチングガスとして、異なる種類的气体を使用し、エッチングにより上記InP系化合物半導体の基板に形成されるピアホール又は凹部の傾斜角度を変更するようにした請求項1又は2に記載のドライエッチング方法。

【請求項4】 上記エッチングガスとして、活性化水素ガスに加えて、不活性ガスとC<sub>1</sub>を含むガスとBCl<sub>3</sub>を含むガスとHBrを含むガスとHC<sub>1</sub>を含むガスとのうちから選択されたガスを使用し、エッチングにより上記基板に形成されるピアホール又は凹部の傾斜角度を変更するようにした請求項1に記載のドライエッチング方法。

【請求項5】 上記エッチングガスとして、C<sub>1</sub>を含むガスに加えて、不活性ガスとBCl<sub>3</sub>を含むガスとHBrを含むガスとHC<sub>1</sub>を含むガスとのうちから選択されたガスを使用し、エッチングにより上記基板に形成されるピアホール又は凹部の傾斜角度を変更するようにした請求項2に記載のドライエッチング方法。

【請求項6】 上記放電コイル又はアンテナに印加する

上記高周波電力の周波数は27.12MHz、40.68MHz、60MHz、80MHz、100MHzのいずれかである請求項1〜5のいずれか1つに記載のドライエッチング方法。

【請求項7】 上記反応室内の真空度を1Pa〜4Paの範囲で調整することにより、レジストマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を90°〜60°の範囲で制御する請求項1又は4に記載のドライエッチング方法。

10 【請求項8】 上記混合ガスの(HI流量/混合ガス総流量)を10%〜30%の範囲で調整することにより、レジストマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を90°〜45°の範囲で制御するとともに、エッチングレートを300nm/min〜1250nm/minの範囲で制御する請求項1又は4に記載のドライエッチング方法。

20 【請求項9】 上記InP系化合物半導体の基板に印加するバイアスの高周波電力を200W〜100Wの範囲で調整することにより、レジストマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を90°〜45°の範囲で制御するとともに、エッチングレートを3000nm/min〜800nm/minの範囲で制御する請求項1又は4に記載のドライエッチング方法。

30 【請求項10】 上記放電コイルに印加する高周波電力の周波数を13.6MHz〜100MHzの範囲で調整することにより、レジストマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を50°〜90°の範囲で制御するとともに、エッチングレートを0.5μm/min〜5μm/minの範囲で制御する請求項1又は4に記載のドライエッチング方法。

【請求項11】 上記InP系化合物半導体の基板の表面温度を50℃〜150℃の範囲で調整することにより、レジストマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を50°〜80°の範囲で制御するとともに、エッチングレートを1100nm/min〜2000nm/minの範囲で制御する請求項2又は5に記載のドライエッチング方法。

40 【請求項12】 上記放電コイル又はアンテナに印加する上記高周波電力の周波数は300MHzから3GHzのUHF帯の周波数である請求項1〜11のいずれか1つに記載のドライエッチング方法。

【請求項13】 上記基板に印加するバイアスの周波数が13.56MHz以下である請求項1〜12のいずれか1つに記載のドライエッチング方法。

【請求項14】 上記基板に印加するバイアスの周波数が13.56MHz、2MHz、800kHz、500kHzのいずれかである請求項1〜12のいずれか1つに記載のドライエッチング方法。

50 【請求項15】 上記反応室内の真空度が0.1Pa〜

0.5 Pa の高真空領域で上記基板をドライエッチングする請求項 1～5、12～14 のいずれか 1 つに記載のドライエッチング方法。

【請求項 16】 上記反応室内の真空度が 0.3 Pa の圧力領域である請求項 1～5、12～14 のいずれか 1 つに記載のドライエッチング方法。

【請求項 17】 上記アンテナに印加する上記高周波電力の周波数は 13.56 MHz であり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は 13.56 MHz であり、エッチングガスは活性化系に加えて、不活性ガスと C<sub>1</sub> を含むガスと BC<sub>1</sub> を含むガスと HBr を含むガスと HCl を含むガスとのうちから選択されたガスを使用することにより、上記基板の樹脂レジストマスクが無い部分に 100 μm 以上の深堀加工を行うとともに、エッチング加工により、樹脂レジストマスクが無い部分にピアホール又は凹部に傾斜角度 90°～70 度の傾斜面を形成する請求項 1 に記載のドライエッチング方法。

【請求項 18】 上記放電コイルに印加する上記高周波電力の周波数は 100 MHz であり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は 500 kHz であり、エッチングガスは C<sub>1</sub> を含むガスに加えて、不活性ガスと BC<sub>1</sub> を含むガスと HBr を含むガスと HCl を含むガスとのうちから選択されたガスを使用することにより、上記基板の樹脂レジストマスクが無い部分に 100 μm 以上の深堀加工を行うとともに、エッチング加工により、樹脂レジストマスクが無い部分にピアホール又は凹部に傾斜角度 90°～70 度の傾斜面を形成する請求項 2 に記載のドライエッチング方法。

【請求項 19】 上記基板の表面温度が樹脂レジスト使用可能な温度範囲である請求項 1～8 のいずれか 1 つに記載のドライエッチング方法。

【請求項 20】 反応室 (1) と、上記反応室 (1) 内に、エッチングガスとして用いる活性化系ガスと不活性ガスとの混合ガスを供給するガス供給装置 (2) と、上記反応室内を排気する排気装置 (3) と、上記反応室内の基板電極 (6) に設置された InP 系化合物半導体の基板 (7) に対向して設けられた平面状渦形放電コイル (5) に 13.56 MHz 以上の高周波電力を印加する高周波電力印加装置 (4) と、上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加する基板電極用高周波電圧印加装置 (8) と、上記ガス供給装置 (2) で上記反応室 (1) 内に上記活性化系ガスと上記不活性ガスとの上記混合ガスを供給しながら上記排気装置 (3) により上記反応室内を排気して上記反応室内を所定の圧力に制御しながら、上記高周波電力印加装置 (4) により平面状渦形放電コイル (5) に 13.56 MHz 以上の高周波電力を印加することにより、上記反応室内にプラズマを発生させ、上記

放電コイル又はアンテナに印加する上記高周波電力により上記プラズマの密度を制御するとともに、この制御とは独立して、上記基板電極用高周波電圧印加装置 (8) により上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加することで上記 InP 系化合物半導体の基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、上記 InP 系化合物半導体の基板をエッチングする制御装置 (1000) とを備えるドライエッチング装置。

【請求項 21】 反応室 (1) と、

10 上記反応室 (1) 内に、エッチングガスとして用いる塩素又は臭化水素又は塩化水素を含むガスと不活性ガスとの混合ガスを供給するガス供給装置 (2) と、上記反応室内を排気する排気装置 (3) と、  
上記反応室内の基板電極 (6) に設置された InP 系化合物半導体の基板 (7) に対向して設けられた平面状渦形放電コイル (5) 又はアンテナ (15) に 13.56 MHz 以上の高周波電力を印加する高周波電力印加装置 (4) と、

上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加する基板電極用高周波電圧印加装置 (8) と、  
20 上記ガス供給装置 (2) で上記反応室 (1) 内に上記塩素又は上記臭化水素又は上記塩化水素を含むガスと上記不活性ガスとの混合ガスを供給しながら上記排気装置 (3) により上記反応室内を排気して上記反応室内を所定の圧力に制御しながら、上記高周波電力印加装置 (4) により平面状アンテナ (15) に 13.56 MHz 以上の高周波電力を印加することにより、上記反応室内にプラズマを発生させ、上記アンテナに印加する上記高周波電力により上記プラズマの密度を制御するとともに、この制御とは独立して、上記基板電極用高周波電圧印加装置 (8) により上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加することで上記 InP 系化合物半導体の基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、上記 InP 系化合物半導体の基板をエッチングする制御装置 (1000) とを備えるドライエッチング装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、化合物半導体の製造プロセスに関し、InP またはそのエピタキシャル成長薄膜を制御性良く異方的に加工するドライエッチング方法に関するものであって、特に、誘導結合方式のプラズマ源 (ICP) や VHF や UHF 等の高周波帯のプラズマにより生成されたイオンに到達するドライエッチング方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 化合物半導体のエッチング加工技術は、半導体レーザ、光変調器等、様々な化合物半導体素子の製造に用いられている。化合物半導体のエッチングは、  
50 らく湿式エッチングが用いられてきたが、近年、ウェハ

面内での加工寸法均一性向上への要求が高まり、ドライエッチング技術の研究が進められている。

【0003】また、この様な化合物半導体装置に対する微細化やプロセスのドライ化の要請から特に、微細化による高性能化が行われているHBT (Heterojunction Bipolar Transistor) や HEMT (High Electron Mobility Transistor) の製造工程において、微細加工性や材料の種類に対する選択性に優れたエッチング技術や高速プロセスあるいはエッチング形状の制御性が特に重要になっている。

【0004】従来からの技術として化合物半導体のドライエッチング方式としては、塩素系ガスとアルゴンなどの不活性ガスの混合ガスやメタンあるいはハロゲン化メタンと水素の混合ガスによる反応性イオンエッチング (RIE) や反応性イオンビームエッチング (RIBE) が用いられていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、加工形状の異方性を制御するためには、相当の電力を供給する必要があり、それによる基板または薄膜の表面にプラズマダメージが入ったり、表面の平坦性 (鏡面性) を確保することが困難であった。

【0006】一方、I n P を使った HEMT デバイスにとって高速動作 (電子移動度) に極めて重要なピアホール加工には、例えば、少なくとも、 $20\mu\text{m}$  以上、より好ましくは  $100\mu\text{m}$  以上の深堀加工が必要である。つまり、レジストマスクに対して高選択プロセスが必要であり、かつ高速エッチングが不可欠であるが、上記メタンあるいはハロゲン化メタンと水素の混合ガスでの RIE プラズマでは、所望の時間で処理することが困難である。また、塩素系ガスによる I n P 材料のエッチングでは、従来良好な加工形状を得ることは困難である。これは、I n P の塩化物の蒸気圧が低いためである。

【0007】従って、本発明の目的は、上記問題を解決することによって、I n P 系化合物半導体の基板に対して深堀加工を迅速に行うことができるドライエッチング方法及び装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は以下のように構成する。

【0009】本発明の第1態様によれば、反応室内にエッチングガスを供給しつつ上記反応室内を排気し、上記反応室内を所定の圧力に制御しながら、上記反応室内の基板電極に設置された I n P 系化合物半導体の基板に対向して設けられた平面状渦形放電コイルに  $13.56\text{MHz}$  以上の高周波電力を印加することにより、上記反応室内にプラズマを発生させ、上記放電コイルに印加する上記高周波電力により上記プラズマの密度を制御するとともに、この制御とは独立して、上記基板電極にも電極

用高周波電源により高周波電圧を印加することで上記 I n P 系化合物半導体の基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、上記 I n P 系化合物半導体の基板をエッチングするとともに、上記エッチングガスとして、活性化水素ガスと不活性ガスとの混合ガスを用いるドライエッチング方法を提供する。

【0010】本発明の第2態様によれば、反応室内にエッチングガスを供給しつつ上記反応室内を排気し、上記反応室内を所定の圧力に制御しながら、上記反応室内の基板電極に設置された I n P 系化合物半導体の基板に対向して設けられた平面状アンテナに  $13.56\text{MHz}$  以上の高周波電力を印加することにより、上記反応室内にプラズマを発生させ、上記アンテナに印加する上記高周波電力により上記プラズマの密度を制御するとともに、この制御とは独立して、上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加することで上記 I n P 系化合物半導体の基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、上記 I n P 系化合物半導体の基板をエッチングするとともに、上記エッチングガスとして、塩素又は臭化水素又は塩化水素を含むガスと不活性ガスとの混合ガスを用いるドライエッチング方法を提供する。

【0011】本発明の第3態様によれば、上記エッチングガスとして、異なる種類のガスを使用し、エッチングにより上記 I n P 系化合物半導体の基板に形成されるピアホール又は凹部の傾斜角度を変更するようにした第1又は第2の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0012】本発明の第4態様によれば、上記エッチングガスとして、活性化水素ガスに加えて、不活性ガスと  $\text{Cl}_2$  を含むガスと  $\text{BCl}_3$  を含むガスと  $\text{HBr}$  を含むガスと  $\text{HC1}$  を含むガスとのうちから選択されたガスを使用し、エッチングにより上記基板に形成されるピアホール又は凹部の傾斜角度を変更するようにした第1の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0013】本発明の第5態様によれば、上記エッチングガスとして、 $\text{Cl}_2$  を含むガスに加えて、不活性ガスと  $\text{BCl}_3$  を含むガスと  $\text{HBr}$  を含むガスと  $\text{HC1}$  を含むガスとのうちから選択されたガスを使用し、エッチングにより上記基板に形成されるピアホール又は凹部の傾斜角度を変更するようにした第2の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0014】本発明の第6態様によれば、上記放電コイル又はアンテナに印加する上記高周波電力の周波数は  $27.12\text{MHz}$ 、 $40.68\text{MHz}$ 、 $60\text{MHz}$ 、 $80\text{MHz}$ 、 $100\text{MHz}$  のいずれかである第1～5のいずれか1つの態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0015】本発明の第7態様によれば、上記反応室内の真空度を  $1\text{Pa} \sim 4\text{Pa}$  の範囲で調整することにより、レジストマスク下の上記 I n P 系化合物半導体の

7  
基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を $90^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の範囲で制御する第1又は4の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0016】本発明の第8態様によれば、上記混合ガスの(HI流量/混合ガス総流量)を $10\% \sim 30\%$ の範囲で調整することにより、レジスタマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を $90^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の範囲で制御するとともに、エッチングレートを $300 \text{ nm/min} \sim 1250 \text{ nm/min}$ の範囲で制御する第1又は4の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0017】本発明の第9態様によれば、上記InP系化合物半導体の基板に印加するバイアスの高周波電力を $200 \text{ W} \sim 100 \text{ W}$ の範囲で調整することにより、レジスタマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を $90^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の範囲で制御するとともに、エッチングレートを $3000 \text{ nm/min} \sim 8000 \text{ nm/min}$ の範囲で制御する第1又は4の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0018】本発明の第10態様によれば、上記放電コイルに印加する高周波電力の周波数を $13.56 \text{ MHz} \sim 100 \text{ MHz}$ の範囲で調整することにより、レジスタマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を $50^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の範囲で制御するとともに、エッチングレートを $0.5 \text{ μm/min} \sim 5 \text{ μm/min}$ の範囲で制御する第1又は4の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0019】本発明の第11態様によれば、上記InP系化合物半導体の基板の表面温度を $50^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ の範囲で調整することにより、レジスタマスクの下の上記InP系化合物半導体の基板のピアホール又は凹部の傾斜角度を $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$ の範囲で制御するとともに、エッチングレートを $1100 \text{ nm/min} \sim 2000 \text{ nm/min}$ の範囲で制御する第2又は5の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0020】本発明の第12態様によれば、上記放電コイル又はアンテナに印加する上記高周波電力の周波数は $300 \text{ MHz}$ から $3 \text{ GHz}$ のUHF帯の周波数である第1～11のいずれか1つの態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0021】本発明の第13態様によれば、記基板に印加するバイアスの周波数が $13.56 \text{ MHz}$ 以下である第1～12のいずれか1つの態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0022】本発明の第14態様によれば、上記基板に印加するバイアスの周波数が $13.56 \text{ MHz}$ 、 $2 \text{ MHz}$ 、 $800 \text{ kHz}$ 、 $500 \text{ kHz}$ のいずれかである第1～12のいずれか1つの態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0023】本発明の第15態様によれば、上記反応室

内の真空度が $0.1 \text{ Pa} \sim 0.5 \text{ Pa}$ の高真空領域で上記基板をドライエッチングする第1～5、12～14のいずれか1つの態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0024】本発明の第16態様によれば、上記反応室内の真空度が $0.3 \text{ Pa}$ の圧力領域である第1～5、12～14のいずれか1つの態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0025】本発明の第17態様によれば、上記アンテナに印加する上記高周波電力の周波数は $13.56 \text{ MHz}$ であり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は $13.56 \text{ MHz}$ であり、エッチングガスは活性化素に加えて、不活性ガスと $\text{Cl}_1$ を含むガスと $\text{BCl}_1$ を含むガスと $\text{HBr}$ を含むガスと $\text{HCl}$ を含むガスとのうちから選択されたガスを使用することにより、上記基板の樹脂レジスタマスクが無い部分に $100 \text{ μm}$ 以上の深堀加工を行うとともに、エッチング加工により、樹脂レジスタマスクが無い部分にピアホール又は凹部に傾斜角度 $90^{\circ} \sim 70^{\circ}$ の傾斜面を形成する第1の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0026】本発明の第18態様によれば、上記放電コイルに印加する上記高周波電力の周波数は $100 \text{ MHz}$ であり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は $500 \text{ kHz}$ であり、エッチングガスは $\text{Cl}_1$ を含むガスに加えて、不活性ガスと $\text{BCl}_1$ を含むガスと $\text{HBr}$ を含むガスと $\text{HCl}$ を含むガスとのうちから選択されたガスを使用することにより、上記基板の樹脂レジスタマスクが無い部分に $100 \text{ μm}$ 以上の深堀加工を行うとともに、エッチング加工により、樹脂レジスタマスクが無い部分にピアホール又は凹部に傾斜角度 $90^{\circ} \sim 70^{\circ}$ の傾斜面を形成する第2の態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0027】本発明の第19態様によれば、上記基板の表面温度が樹脂レジスタ使用可能な温度範囲である第1～18のいずれか1つの態様に記載のドライエッチング方法を提供する。

【0028】本発明の第20態様によれば、反応室と、上記反応室内に、エッチングガスとして用いる活性化素ガスと不活性ガスとの混合ガスを供給するガス供給装置と、上記反応室内を排気する排気装置と、上記反応室内の基板電極に設置されたInP系化合物半導体の基板に対向して設けられた平面状渦放電コイルに $13.56 \text{ MHz}$ 以上の高周波電力を印加する高周波電力印加装置と、上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加する基板電極用高周波電圧印加装置と、上記ガス供給装置で上記反応室内に上記活性化素ガスと上記不活性ガスとの上記混合ガスを供給しながら上記排気装置により上記反応室内を排気して上記反応室内を所定の圧力に制御しながら、上記高周波電力印加装置により平面状渦放電コイルに $13.56 \text{ MHz}$ 以上の高周波電力

を印加することにより、上記反応室内にプラズマを発生させ、上記放電コイル又はアンテナに印加する上記高周波電力により上記プラズマの密度を制御するとともに、この制御とは独立して、上記基板電極用高周波電圧印加装置により上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加することで上記 1 n P 系化合物半導体の基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、上記 1 n P 系化合物半導体の基板をエッチングする制御装置とを備えるドライエッチング装置を提供する。

【0029】本発明の第 2 1 態様によれば、反応室と、上記反応室内に、エッチングガスとして用いる塩素又は臭化水素又は塩化水素を含むガスと不活性ガスとの混合ガスを供給するガス供給装置と、上記反応室内を排気する排気装置と、上記反応室内の基板電極に載置された 1 n P 系化合物半導体の基板に方向して設けられた平面状渦形放電コイル又はアンテナに 13.56 MHz 以上の高周波電力を印加する高周波電力印加装置と、上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加する基板電極用高周波電圧印加装置と、上記ガス供給装置で上記反応室内に上記塩素又は上記臭化水素又は上記塩化水素を含むガスと上記不活性ガスとの混合ガスを供給しながら上記排気装置により上記反応室内を排気して上記反応室内を所定の圧力に制御しながら、上記高周波電力印加装置により平面状アンテナに 13.56 MHz 以上の高周波電力を印加することにより、上記反応室内にプラズマを発生させ、上記アンテナに印加する上記高周波電力により上記プラズマの密度を制御するとともに、この制御とは独立して、上記基板電極用高周波電圧印加装置により上記基板電極にも電極用高周波電源により高周波電圧を印加することで上記 1 n P 系化合物半導体の基板に到達するイオンエネルギーを制御しながら、上記 1 n P 系化合物半導体の基板をエッチングする制御装置とを備えるドライエッチング装置を提供する。

【0030】

【発明の実施の形態】以下に、本発明にかかる実施の形態を図面に基いて詳細に説明する。

【0031】本発明の第 1 実施形態にかかるドライエッチング方法を実施するドライエッチング装置としては、図 1 に示すものを使用する。図 1 において、反応室の一例としての真空室 1 内にガス供給装置 2 から所定のガスを導入しつつ排気装置の一例としてのポンプ 3 により排気を行い、真空室 1 内を所定の圧力に保ちながら、放電コイル用高周波電源 4 により所定の高周波電力（例えば周波数 13.56 MHz）を、石英などの誘電板 12 上のマルチスパイラルコイル（平面状渦形放電コイル）5 に供給すると、真空室 1 内にプラズマが発生し、基板電極 6 上に載置された 1 n P 系化合物半導体の基板（ウェハ）7 に対してドライエッチング、堆積、又は、表面改質等のプラズマ処理を行うことができる。この第 1 実施形態ではエッチング処理用としてプラズマ処理を行う。

このとき、基板電極 6 にも基板電極用高周波電源 8 により高周波電力を供給することで、基板 7 に到達するイオンエネルギーを制御することができる。このように、高密度プラズマを発生させるとともに基板 7 にバイアス電位を与えて、プラズマ密度の制御とバイアス電位の制御を独立に行うものである。図 1 には、上記平面状渦形放電コイル 5 としては多重の渦形コイルを用いた例を示している。放電コイル 5 は、4 つの渦形の放電コイルを中心部で 1 つに結合して周方向に等間隔に配列したものであり、中心部が高周波電源 4 に接続され、外周端がそれぞれ接地されている。

【0032】ガス供給装置 2 から真空室 1 内に導入されるガス、言い換えれば、エッチングガスとしては、活性化水素ガスに加えて、不活性ガスと C1 を含むガスと B C1 を含むガスと H B r を含むガスと H C l を含むガスとの 5 種類のガスのうちから選択されたガス、すなわち、活性化水素ガスと不活性ガスとの混合ガス、活性化水素ガスと C1 を含むガスとの混合ガス、活性化水素ガスと B C1 を含むガスとの混合ガス、活性化水素ガスと H B r を含むガスとの混合ガス、又は、活性化水素ガスと H C l を含むガスとの混合ガスを用いることができる。これらのガスは、その種類を適宜選択することにより、エッチングにより形成すべき加工形状、例えば、基板 7 の樹脂レジストマスク 30 が無い部分、ビアホール又は凹部 7 a 形成時の傾斜面 7 b の傾斜角度（基板 7 の傾斜面 7 b と基板表面に平行な面とのなす角度  $\theta$ ）を所望の角度に形成することができる。さらに、エッチング処理の工程中、ガスの種類を変えることにより、エッチングにより基板 7 の樹脂レジストマスク 30 が無い部分に形成されるビアホール又は凹部 7 a の傾斜角度  $\theta$  を変更することができる。例えば、最初は、基板 7 の表面に対して直交する方向に深堀を行い、底部近傍で異なるガスを導入して直交方向に対して緩やかに傾斜した傾斜面を底部角部に形成することが可能となる。また、エッチング処理の工程で、ガスの種類を適宜選択することにより、基板 7 の表面の樹脂レジストマスク 30 が無い部分に対して基板 7 の表面と直交する面と様々な傾斜角度の傾斜面とを任意に組み合わせることにより、所望の加工形状を形成することも可能である。

【0033】上記高密度プラズマ源である、放電コイル用高周波電源 4 により印加される高周波電力としては、13.56 MHz 以上の周波数、具体的には、13.56 MHz、27.12 MHz、40.68 MHz、60 MHz、80 MHz、100 MHz、又は、300 MHz から 3 GHz の UHF 帯の周波数を印加させることができる。この第 1 実施形態にかかるドライエッチング方法及び装置としては、実用上、13.56 MHz が最も好ましい。

【0034】一方、上記基板電極用高周波電源 8 により基板電極 6 には 13.56 MHz 以下のバイアス電圧を



印加することができる。具体的には、上記基板電極6に印加するバイアスの周波数は、13.56MHz、2MHz、800kHz、500kHzを使用することができる。このうち、この第1実施形態にかかるドライエッチング方法及び装置としては、実用上、500kHzが最もエッチングレートを上げることができて好ましい。

【0035】上記反応室1内の真空度は0.1Pa～0.5Pa以下の高真空領域で、上記基板7をドライエッチングする。具体的には、100MHz～500kHz上記反応室1内の真空度が0.3Paの圧力領域が好ましい。

【0036】上記エッチング処理は、基本的に、常温で可能である。しかしながら、上記基板7の表面温度が例えば200℃～250℃になるように基板電極6を加熱することにより、常温で行うよりも、早くプラズマ処理を行うことができる。

【0037】具体的な例としては、上記放電コイルに印加する上記高周波電力の周波数はVHF100MHzであり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は500kHzであり、エッチングガスは塩素を含むガスと不活性ガスとの混合ガスを使用する場合は、例えば、エッチング加工により、40μmの厚さの樹脂レジストマスクレジストマスク30の無い部に、ビアホール又は凹部7aに傾斜角度70度の傾斜面7bを形成することが可能となる。また、別の例としては、上記放電コイルに印加する上記高周波電力の周波数は13.56MHz～100MHzであり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は13.56MHzであり、エッチングガスは活性化酸素ガスと不活性ガスとの混合ガスを使用する場合は、例えば、エッチング加工により、樹脂レジストマスク30の無い部に、ビアホール又は凹部7aに傾斜角度50～90度の傾斜面7bを形成することが可能となる。これらいずれの場合も、100μm以上の深堀加工を少なくとも1000nm/分以上のエッチング速度で行うことができる。

【0038】これに対して、従来では、せいぜい50μmまでしか深堀加工することができず、かつ、200℃程度まで加熱しても1μm/分未満（例えば0.05～0.7μm/分程度）のエッチング速度しか得られず、50μmの深堀加工を行うときには1時間半を要していた。

【0039】上記エッチング方法により製造されるInP系化合物半導体の基板は、オプトデバイス、レーザデバイス、電子デバイスなどに適用可能で、より具体的な適用例としては高速無線通信用デバイスがある。

【0040】上記第1実施形態によれば、平面状溝放電コイル5に13.56MHz以上の高周波電力を印加するとともに、上記基板電極6にも電極用高周波電源8により高周波電圧を印加し、両者を独立的にそれぞれ制御しながら、エッチングガスを適宜選択することによ

り、従来のRIEプラズマ処理では、実用上、不可能であった、20μm以上、より好ましくは100μm以上の深堀加工がInP系化合物半導体の基板7に対して迅速に行うことができる。すなわち、従来のRIEプラズマ処理では、上側電極はアースされており、基板に対して13.56MHzの高周波電力を印加しており、CH<sub>4</sub>とH<sub>2</sub>との混合ガスで250℃の高温下で行うことにより、エッチング速度を10nm/分程度まで高めていたが、10nm/分では深堀加工を行うときには遅すぎた、20μm以上、より好ましくは100μm以上の深堀加工は実用上不可能であった。これに対して、上記第1実施形態では、エッチング速度を従来の数十倍又は数百倍（例えば1000nm/分）に高めることができる。

【0041】なお、上記上記第1実施形態にかかるドライエッチング装置の各装置2、3、4、8などの動作制御は制御装置1000により自動的に行うように構成されている。従って、後述する種々の条件下で傾斜角度θなどの制御を行うとき、制御装置1000のメモリ1001に、図3から図6に記載された関係情報を予め記憶させておけば、作業者はその関係情報を基に例えば所望の傾斜角度又はエッチングレートでドライエッチングを行わせることができる。

【0042】また、処理速度を速めるべく250℃程度の高温にするため、基板表面に配置に設置する樹脂製のレジストマスクでは耐熱温度が120～130℃程度しかたらず、別途、CVD工程で20μmのSiO<sub>2</sub>をマスクとしてInP系化合物半導体の基板の表面に形成する必要がある。よって、従来ではCVD工程が余分に必要となる。これに対して、上記第1実施形態では、常温などの樹脂レジスト使用可能な温度範囲でも可能となるため、樹脂製のレジストマスク30を十分に使用することができ、CVD工程によりSiO<sub>2</sub>マスクを形成することが不要となり、CVD工程を余分に行う必要がない。

【0043】また、上記方法によれば、基板7の表面を鏡面に仕上げることができ、ダメージレスを実現することができる。

【0044】また、上記方法によれば、エッチング処理中に、エッチングガスを種類の異なるガスに切り換えることにより、基板7に形成されるビアホール又は凹部7aの傾斜角度θを変更することができ、加工形状を所望の形状に制御することができる。

【0045】以下に、上記第1実施形態にかかるドライエッチング装置及び方法の実例について説明する。

【0046】一例として、上記放電コイルに印加する上記高周波電力の周波数は13.56MHzであり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は13.56MHzであり、エッチングガスは活性化酸素(HC1)に加えて、不活性ガスとC1<sub>2</sub>を含むガスとBC1

13

を含むガスとHBrを含むガスとHClを含むガスとの5種類のガスのうちから選択されたガスを使用することにより、140℃以下で、上記基板の樹脂レジスタマスクが無い部分に100μm以上の深堀加工を行うとともに、エッチング加工により、樹脂レジスタマスクが無い部分にビアホール又は凹部に傾斜角度90°〜70度の傾斜面を形成する。このときのエッチングレートは2μm/分以下である。沃化水素(HCl)を使用するのは、InPに対する加工性(言い換えれば、エッチングレート、形状制御、加工面の状態の観点からの加工性)が非常に良くなるためである。140℃以下の低温(例えば100℃〜150℃)でも加工可能になるため、高価な金属製マスクを使用することなく、耐熱温度140℃〜150℃の樹脂レジスタマスクを使用することが可能となり、マスクが安価なものとなり、大量生産を行いやすくなる。

【0047】例えば、上記第1実施形態にかかるドライエッチング装置において、図3(D)に示すように、上記放電コイルに印加する高周波電力が700〜900W、上記基板に印加するバイアスの高周波電力が100〜150W、混合ガス流量H1/He=30/120SCCMのとき、上記反応室1内の真空度は1Pa(図3(D)のA点:図3の(A)参照)〜3Pa(図3(D)のB点:図3の(B)参照)〜4Pa(図3(D)のC点:図3の(C)参照)と変化するにつれて、レジスタマスクの下にInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度θも90°(図3(D)のA点:図3の(A)参照)〜70°(図3(D)のB点:図3の(B)参照)〜60°(図3(D)のC点:図3の(C)参照)と変化する。

【0048】従って、上記反応室1内の真空度を1Pa〜4Paの範囲で調整することにより、レジスタマスクの下にInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度θを90°〜60°の範囲で制御することができる。

【0049】また、上記第1実施形態にかかるドライエッチング装置において、図4(D)に示すように、上記放電コイルに印加する高周波電力が700〜900W、上記基板に印加するバイアスの高周波電力が100〜150W、上記反応室1内の真空度は2Paのとき、上記混合ガスの(H1流量/総流量)(%) (ただし、総流量=H1流量+He流量)は10%(図4(D)のD点:図4の(A)参照)〜20%(図4(D)のE点:図4の(B)参照)〜30%(図4(D)のF点:図4の(C)参照)と変化するにつれて、レジスタマスクの下にInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度θは90°(図4(D)のD点:図4の(A)参照)〜80°(図4(D)のE点:図4の(B)参照)〜45°(図4(D)のF点:図4の(C)参照)と変化する。また、同条件下で、上記混合ガスの(H1流量/総流量)(%) (ただし、総流量=H1流量+He流量)は10

14

%(図4(D)のD点:図4の(A)参照)〜20%(図4(D)のE点:図4の(B)参照)〜30%(図4(D)のF点:図4の(C)参照)と変化するにつれて、エッチングレートも300nm/min(図4(D)のD点:図4の(A)参照)〜600nm/min(図4(D)のE点:図4の(B)参照)〜1250nm/min(図4(D)のF点:図4の(C)参照)と変化する。

【0050】従って、上記混合ガスの(H1流量/総流量)を10%〜30%の範囲で調整することにより、レジスタマスクの下にInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度θを90°〜45°の範囲で制御することができる。また、上記混合ガスの(H1流量/総流量)を10%〜30%の範囲で調整することにより、エッチングレートを300nm/min〜1250nm/minの範囲で制御することができる。

【0051】さらに、上記第1実施形態にかかるドライエッチング装置において、図5(D)に示すように、上記放電コイルに印加する高周波電力が700〜900W、混合ガス流量H1/He=30/120SCCM、上記反応室1内の真空度は2Paのとき、上記基板に印加するバイアスの高周波電力が200W(図5(D)のH点:図5の(A)参照)〜150W(図5(D)のI点:図5の(B)参照)〜100W(図5(D)のJ点:図5の(C)参照)と変化するにつれて、レジスタマスクの下にInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度θは90°(図5(D)のH点:図5の(A)参照)〜65°(図5(D)のI点:図5の(B)参照)〜45°(図5(D)のJ点:図5の(C)参照)と変化する。また、同条件下で、上記基板に印加するバイアスの高周波電力が200W(図5(D)のH点:図5の(A)参照)〜150W(図5(D)のI点:図5の(B)参照)〜100W(図5(D)のJ点:図5の(C)参照)と変化するにつれて、エッチングレートも300nm/min(図5(D)のH点:図5の(A)参照)〜1600nm/min(図5(D)のI点:図5の(B)参照)〜800nm/min(図5(D)のJ点:図5の(C)参照)と変化する。

【0052】従って、上記基板に印加するバイアスの高周波電力を200〜100Wの範囲で調整することにより、レジスタマスクの下にInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度θを90°〜45°の範囲で制御することができる。また、上記基板に印加するバイアスの高周波電力を200W〜100Wの範囲で調整することにより、エッチングレートを300nm/min〜800nm/minの範囲で制御することができる。

【0053】さらに、上記第1実施形態にかかるドライエッチング装置において、図6に示すように、上記基板に印加するバイアスの高周波電力が100〜150W、混合ガス流量H1/He=30/120SCCM、上記

50

反応室 1 内の真空度は 2 Pa のとき、上記放電コイルに印加する高周波電力の周波数が 13.6 MHz $\sim$ 27.1 MHz $\sim$ 40.7 MHz $\sim$ 60 MHz $\sim$ 100 MHz と変化するにつれて、レジストマスクの下の InP 基板のピアホール又は凹部の傾斜角度  $\theta$  は 50° $\sim$ 50° $\sim$ 68° $\sim$ 80° $\sim$ 90° と変化する。また、同条件下で、上記放電コイルに印加する高周波電力の周波数が 13.6 MHz $\sim$ 27.1 MHz $\sim$ 40.7 MHz $\sim$ 60 MHz $\sim$ 100 MHz と変化するにつれて、エッチングレートも 0.5  $\mu\text{m}/\text{min}$  $\sim$ 1.3  $\mu\text{m}/\text{min}$  $\sim$ 2.2  $\mu\text{m}/\text{min}$  $\sim$ 4  $\mu\text{m}/\text{min}$  $\sim$ 5  $\mu\text{m}/\text{min}$  と変化する。

【0054】従って、上記放電コイルに印加する高周波電力の周波数を 13.6 MHz $\sim$ 100 MHz の範囲で調整することにより、レジストマスクの下の InP 基板のピアホール又は凹部の傾斜角度  $\theta$  を 50° $\sim$ 90° の範囲で制御することができる。また、上記放電コイルに印加する高周波電力の周波数を 13.6 MHz $\sim$ 100 MHz の範囲で調整することにより、エッチングレートを 0.5  $\mu\text{m}/\text{min}$  $\sim$ 5  $\mu\text{m}/\text{min}$  の範囲で制御するこ

【0055】図 7 (A)、(B) には、実例として、80  $\mu\text{m}$  の厚さの樹脂レジストマスクを InP 基板上に載置したとき、樹脂レジストマスクが無い部分の InP 基板を 140  $\mu\text{m}$  まで深堀した状態の断面図及び斜視図を示している。このときのエッチングレートは 1.4  $\mu\text{m}/\text{min}$ 、混合ガスは H<sub>2</sub>/He、基板表面温度は 100 °C、選択比は 5 である。

【0056】なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その他種々の態様で実施できる。

【0057】本発明の第 2 実施形態にかかるドライエッチング方法を実施するドライエッチング装置として、例えば、上記エッチングの条件により（例えば上記放電コイルに印加する上記高周波電力の周波数が 100 MHz である場合）、上記放電コイルに代えてアンテナを使用することもできる。図 2 は、板状アンテナ式プラズマ処理装置の断面図である。図 2 において、反応室の一例としての真空室 1 内にガス供給装置 2 から所定のガスを導入しつつ排気装置の一例としてのポンプ 3 により排気を行い、真空室 1 内を所定の圧力に保ちながら、アンテナ用高周波電源 4 により所定（例えば周波数 100 MHz）の高周波電力を、アンテナ 15 と真空室 1 との間に挟まれ、かつ、アンテナ 15 と外形寸法がほぼ等しい誘電板 16 に設けられた貫通穴 17 を介してアンテナ 15 に供給すると、真空室 1 内にプラズマが発生し、基板電極 6 上に載置された InP 系化合物半導体の基板 7 に対してドライエッチング、堆積、又は、表面改質等のプラズマ処理を行うことができる。この第 2 実施形態ではエッチング処理用としてプラズマ処理を行う。このとき、基板電極 6 にも基板電極用高周波電源 8 により高周波電

力を供給することで、基板 7 に到達するイオンエネルギーを制御することができる。また、アンテナ 15 の表面は、絶縁カバー 11 により覆われている。また、誘電板 16 と誘電板 16 の周辺部に設けられた誘電体リング 12 ととの間の溝状の空間と、アンテナ 15 とアンテナ 15 の周辺部に設けられた導体リング 13 ととの間の溝状の空間からなるプラズマトラップ 14 が設けられている。このような構成により、アンテナ 5 から放射された電磁波がプラズマトラップ 14 で強められ、また、低電子温度プラズマではホローカソード放電が起きやすい傾向があるため、固体表面で囲まれたプラズマトラップ 14 で高密度のプラズマ（ホローカソード放電）が生成しやすくなる。したがって、真空室 1 内では、プラズマ密度がプラズマトラップ 14 で最も高くなり、拡散によって基板 7 の近傍までプラズマが輸送されること、より均一なプラズマが得られる。上記第 2 実施形態にかかるドライエッチング装置及び方法としては、実用上、100 MHz が最も好ましい。

【0058】なお、上記第 2 実施形態にかかるドライエッチング装置の各装置 2、3、4、8 などの動作制御は制御装置 1000 により自動的に行うように構成されている。従って、後述する種々の条件下で傾斜角度などの制御を行うとき、制御装置 1000 のメモリ 1001 に、図 8 に記載された関係情報を予め記憶させておけば、作業者はその関係情報を基に例えば希望の傾斜角度又はエッチングレートでドライエッチングを行わせることができる。

【0059】以下に、上記第 2 実施形態にかかるドライエッチング装置及び方法の実例について説明する。

【0060】一例として、上記アンテナに印加する上記高周波電力の周波数は 27.12 $\sim$ 100 MHz であり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は 500 kHz であり、エッチングガスは C<sub>1</sub> を含むガスに加えて、不活性ガスと BC<sub>1</sub> を含むガスと H<sub>2</sub> r を含むガスと H<sub>2</sub> C<sub>1</sub> を含むガスとの 4 種類のガスのうちから選択されたガスを使用することにより、150 $\sim$ 200 °C で、上記基板の樹脂レジストマスクが無い部分に 100  $\mu\text{m}$  以上の深堀加工を行うとともに、エッチング加工により、樹脂レジストマスクが無い部分にピアホール又は凹部を傾斜角度 90 $\sim$ 70 度の傾斜面を形成する。このときのエッチングレートは 5  $\mu\text{m}/\text{分}$  以下であり、選択比（InP のエッチング/マスクのエッチング）は 10 以上であり、高速エッチングレートでかつ高い選択比を得ることができる。高周波電力の周波数として 100 MHz を使用すると、上記選択比が良くなり（例えば、従来は 3 又は 4 程度までしか高めることができなかったものが、10 を超えてまで高めることができる。）、エッチングレートを高める（例えば、高くても 1  $\mu\text{m}/\text{分}$  未満であったのが、5  $\mu\text{m}/\text{分}$  まで高めることができる。）ことができる。別の例では、上記第 2 実

施形態にかかるドライエッチング装置及び方法では、上記反応室内の真空度が0.5Pa以下、好ましくは0.3Paであり、上記アンテナに印加する上記高周波電力の周波数は100MHz(900W以下)であり、上記基板に印加するバイアスの高周波電力の周波数は500kHz(400W以下)であり、エッチングガスは $Cl_2$ を含むガスに加えて、不活性ガスと $BCl_3$ を含むガスと $HBr$ を含むガスと $HC1$ を含むガスとの4種類のガスのうちから選択されたガスを使用し、上記基板の表面温度が、例えば、150℃以下、好ましくは80℃以下(選択比は約2以上)であり、選択比は約5以上、好ましくは10以上である。

【0061】また、上記第2実施形態にかかるドライエッチング装置及び方法の実例において、図8に示すように、上記アンテナに印加する高周波電力が500~900W、上記基板に印加するバイアスの高周波電力が300~400W、混合ガス流量 $Cl_2/Ar=30/30$ SCCM、上記反応室1内の真空度は0.3Paのとき、上記基板の表面温度が50℃~100℃~150℃と変化するにつれて、レジストマスクの下のInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度 $\theta$ は50°~65°~80°と変化する。また、同条件下で、上記基板の表面温度が50℃~100℃~150℃と変化するにつれて、エッチングレートは1100nm/min~1500nm/min~2000nm/minと変化する。

【0062】従って、上記基板の表面温度を50℃~150℃の範囲で調整することにより、レジストマスクの下のInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度 $\theta$ を50°~80°の範囲で制御することができる。また、上記基板の表面温度を50℃~150℃の範囲で調整することにより、エッチングレートを1100nm/min~2000nm/minの範囲で制御することができる。

【0063】図9(A)、(B)には、実例として、27 $\mu$ mの厚さの耐熱性樹脂レジストマスクをInP基板に載置したとき、樹脂レジストマスクが無い部分のInP基板を直径30 $\mu$ mの大略円錐形で105 $\mu$ mまで深堀した状態の断面図及び斜視図を示している。このときのエッチングレートは1.6 $\mu$ m/min、混合ガスは $Cl_2/Ar$ 、基板表面温度は100℃、選択比は6である。

【0064】図10(A)、(B)、(C)、(D)には、実例として、27 $\mu$ mの厚さの耐熱性樹脂レジストマスクをInP基板に載置したとき、樹脂レジストマスクが無い部分のInP基板を直径70 $\mu$ mの大略円柱形で110 $\mu$ mまで深堀した状態の断面図及び斜視図と、直径30 $\mu$ mの大略円柱形で100 $\mu$ mまで深堀した状態の断面図及び斜視図を示している。このときのそれぞれのエッチングレートは4.5 $\mu$ m/minと4 $\mu$ m/min、混合ガスは $Cl_2/Ar$ と $Cl_2/Ar$ 、基板

表面温度は150℃と150℃、選択比は10以上と10以上である。

【0065】なお、上記各実施形態において、上記InP系化合物半導体の基板の例としては、InGaAsP、InGaP、InAsPなどの化合物半導体の基板がある。

【0066】また、上記各実施形態において、上記基板に配置された樹脂レジストマスクの厚さは、少なくとも10 $\mu$ m必要であり、選択比が10の場合には、10 $\mu$ m厚さの樹脂レジストマスクを使用すれば、100 $\mu$ mまでの深堀を行うことができる。

【0067】要するに、上記第1実施形態にかかるドライエッチング装置及び方法は、安価で大量生産向けの樹脂レジストマスクが使用可能な140℃以下の温度でドライエッチング処理が可能であり、高価な金属製のマスクを使用する必要が無いものであり、上記エッチングガスとして、活性化素ガスと不活性ガスとの混合ガスを用いることにより、上記InP系化合物半導体の基板を加工性良く、ドライエッチング処理できるものである。

【0068】これに対して、上記第2実施形態にかかるドライエッチング装置及び方法は、高速ドライエッチング処理に最適なものであり、選択比が高いものである。また、上記第1実施形態にかかるドライエッチング装置及び方法よりもプラズマ温度を低くすることができ、レジストに対するダメージを小さくすることができ、レジストに対する選択比を高める(例えば5以上に高める)ことができる(なお、従来では200℃程度まで加熱しても選択比は1程度までしか高めることができなかった)。よって、100 $\mu$ m以上の深堀加工を行うのに適したものである。レジストに対する選択比が高いため、結果として、レジスト膜の厚さを薄くしても(例えば10~20 $\mu$ m程度であっても)100 $\mu$ m以上の深堀加工を行うことができる。よって、選択比が高いことを利用して、直径30 $\mu$ m以上で200 $\mu$ m以上の深堀加工を行うこともできる。

【0069】なお、上記第1及び第2実施形態にかかるドライエッチング装置において、図11に示すように、上記基板に印加するバイアスの高周波電力が100~200W、混合ガス流量 $H1/He=30/120$ SCCM、 $Cl_2/Ar=40/30$ SCCM、上記反応室1内の真空度は3Pa以下、上記放電コイル又はアンテナに印加する高周波電力の周波数が13.6MHzと100MHzのとき、上記放電コイル又はアンテナに印加する高周波電力が300~600~900Wと変化するにつれて、レジストマスクの下のInP基板のビアホール又は凹部の傾斜角度 $\theta$ は75°~80°~90°、70°~73°~80°と変化する。

【0070】従って、上記放電コイルに印加する高周波電力の周波数を13.6MHzとすると、上記放電コイルに印加する高周波電力を300~600~900W

19  
との範囲で調整することにより、レジストマスクの下  
の InP 基板のビアホール又は凹部の傾斜角度  $\theta$  を  $75^\circ$   
～ $80^\circ$ ～ $90^\circ$  の範囲で制御することができる。ま  
た、上記アンテナに印加する高周波電力の周波数を 10  
0 MHz とするとき、上記アンテナに印加する高周波電  
力を 300 W～600 W～900 W との範囲で調整すること  
により、レジストマスクの下 InP 基板のビアホール  
又は凹部の傾斜角度  $\theta$  を  $70^\circ$ ～ $73^\circ$ ～ $80^\circ$  の範囲  
で制御することができる。

【0071】なお、上記様々な実施形態のうちの任意の  
実施形態を適宜組み合わせることにより、それぞれの有  
する効果を奏するようにすることができる。

【0072】

【発明の効果】本発明によれば、平面状漏放電コイル  
又はアンテナに 13.56 MHz 以上の高周波電力を印  
加するとともに、上記基板電極にも電極用高周波電源に  
より高周波電圧を印加し、両者を独立的にそれぞれ制御  
しながら、エッチングガスを適宜選択することにより、  
従来の RIE プラズマ処理では、実用上、不可能であ  
った、20  $\mu\text{m}$  以上、より好ましくは 100  $\mu\text{m}$  以上の深  
堀加工が InP 系化合物半導体の基板に対して迅速に行  
うことができる。すなわち、従来の RIE プラズマ処理  
では、上側電極はアースされており、基板に対して 1  
3.56 MHz の高周波電力を印加しており、CH<sub>4</sub> と  
H<sub>2</sub> との混合ガスで 250℃ の高温で行うことにより、  
エッチング速度を 10 nm/分程度まで高めていた  
が、10 nm/分では深堀加工を行うときには遅すぎ  
て、20  $\mu\text{m}$  以上、より好ましくは 100  $\mu\text{m}$  以上の深  
堀加工は実用上不可能であった。これに対して、本発明  
では、エッチング速度を従来の数十倍又は数百倍（例  
えば 1000 nm/分）に高めることができる。

【0073】また、処理速度を速めるため 250℃ 程度  
の高温にするため、基板表面に配置に配置する樹脂製の  
レジストマスクでは耐熱温度が 120℃～130℃ 程度し  
かもたず、別途、CVD 工程で 200 nm の SiO<sub>2</sub> をマ  
スクとして InP 系化合物半導体の基板の表面に形成  
する必要がある。よって、従来では CVD 工程が余分に必  
要となる。これに対して、本発明では、140℃ 以下の  
例えば常温でも可能となるため、樹脂製のレジストマ  
スクを十分に使用することができ、CVD 工程により Si  
O<sub>2</sub> マスクを形成することが不要となり、CVD 工程を  
余分に行う必要がない。

【0074】また、本発明によれば、基板の表面を鏡面  
に仕上げることができ、ダメージレスを実現することが  
できる。

【0075】また、本発明によれば、エッチング処理中  
に、エッチングガスを種類の異なるガスに切り換えるこ  
とにより、基板に形成されるビアホール又は凹部の傾斜  
角度を変更することができ、加工形状を所望の形状に制  
御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 実施形態にかかるドライエッチ  
ング方法を実施するドライエッチング装置の概略説明図  
である。

【図 2】 本発明の第 2 実施形態にかかるドライエッチ  
ング方法を実施するドライエッチング装置の概略説明図  
である。

【図 3】 (A)、(B)、(C)、(D) はそれぞれ  
第 1 実施形態にかかるドライエッチング方法を実施する  
ドライエッチング装置において、圧力と、レジストマ  
スクの下 InP 基板のビアホール又は凹部の傾斜角度と  
の関係を示す図である。

【図 4】 (A)、(B)、(C)、(D) はそれぞれ  
第 1 実施形態にかかるドライエッチング方法を実施する  
ドライエッチング装置において、(H1 流量/総流量)  
と、レジストマスクの下 InP 基板のビアホール又は  
凹部の傾斜角度との関係、及び、(H1 流量/総流量)  
とエッチングレートとの関係を示す図である。

【図 5】 (A)、(B)、(C)、(D) はそれぞれ  
第 1 実施形態にかかるドライエッチング方法を実施する  
ドライエッチング装置において、上記基板に印加するバ  
イアスの高周波電力と、レジストマスクの下 InP 基  
板のビアホール又は凹部の傾斜角度との関係、及び、上  
記基板に印加するバイアスの高周波電力とエッチングレ  
ートとの関係を示す図である。

【図 6】 第 1 実施形態にかかるドライエッチング方法  
を実施するドライエッチング装置において、上記放電コ  
イルに印加する高周波電力の周波数と、レジストマ  
スクの下 InP 基板のビアホール又は凹部の傾斜角度との  
関係、及び、上記放電コイルに印加する高周波電力の周  
波数とエッチングレートとの関係を示す図である。

【図 7】 (A)、(B) は、実例として、第 1 実施形  
態にかかるドライエッチング方法を実施するドライエ  
ッチング装置でドライエッチングした結果において、80  
 $\mu\text{m}$  の厚さの樹脂レジストマスクを InP 基板に載置し  
たとき、樹脂レジストマスクが無い部分の InP 基板を  
140  $\mu\text{m}$  まで深堀した状態の断面図及び斜視図であ  
る。

【図 8】 第 2 実施形態にかかるドライエッチング方法  
を実施するドライエッチング装置において、上記基板の  
表面温度とレジストマスクの下 InP 基板のビアホ  
ール又は凹部の傾斜角度との関係、及び、上記基板の表  
面温度とエッチングレートとの関係を示す図である。

【図 9】 (A)、(B) は、実例として、第 2 実施形  
態にかかるドライエッチング方法を実施するドライエ  
ッチング装置でドライエッチングした結果において、27  
 $\mu\text{m}$  の厚さの耐熱性樹脂レジストマスクを InP 基板に  
載置したとき、樹脂レジストマスクが無い部分の InP  
基板を直径 30  $\mu\text{m}$  の大略逆円錐形で 105  $\mu\text{m}$  まで深  
堀した状態の断面図及び斜視図である。

【図10】 (A), (B), (C), (D) には、実例として、第2実施形態にかかるドライエッチング方法を実施するドライエッチング装置でドライエッチングした結果において、27  $\mu\text{m}$  の厚さの耐熱性樹脂レジストマスクをInP基板上に載置したとき、樹脂レジストマスクが無い部分のInP基板を直径70  $\mu\text{m}$  の大略円柱形で110  $\mu\text{m}$  まで深堀した状態の断面図及び斜視図と、直径30  $\mu\text{m}$  の大略円柱形で100  $\mu\text{m}$  まで深堀した状態の断面図及び斜視図である。

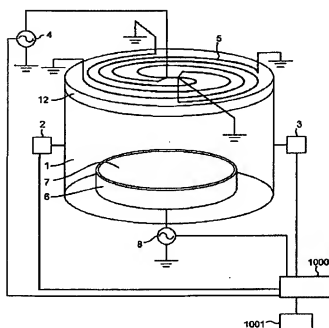
【図11】 第1及び第2実施形態にかかるドライエッチング方法を実施するドライエッチング装置において、上記放電コイルに印加する高周波電力と、レジストマス\*

\* の下のInP基板のピアホール又は凹部の傾斜角度との関係を示す図である。

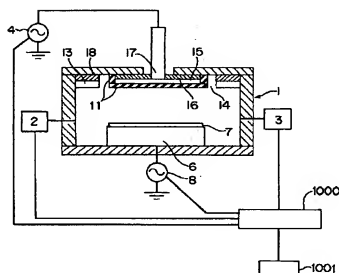
【符号の説明】

1…真空室、2…ガス供給装置、3…ポンプ、4…放電コイル用高周波電源、5…平面状渦形放電コイル、6…基板電極、7…基板、7a…ピアホール又は凹部、7b…傾斜面、8…基板電極用高周波電源、11…絶縁カバー、12…誘電板、13…導体リング、14…プラズマトラップ、15…アンテナ、16…誘電板、17…貫通穴、18…誘電体リング、30…レジストマスク、1000…制御装置、1001…メモリ。

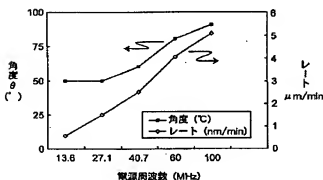
【図1】



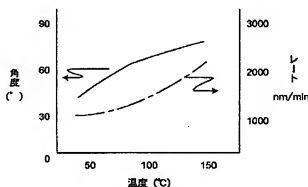
【図2】



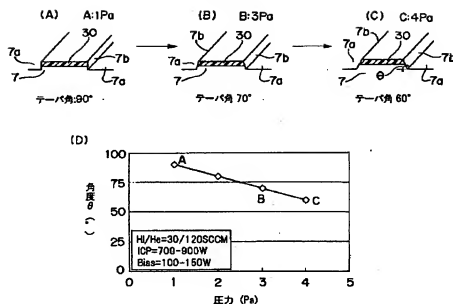
【図6】



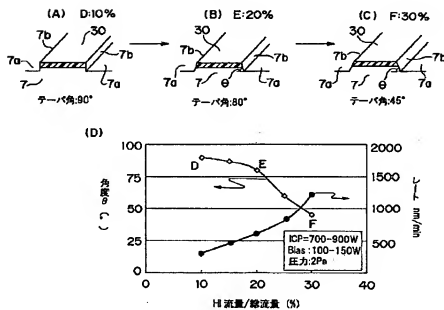
【図8】



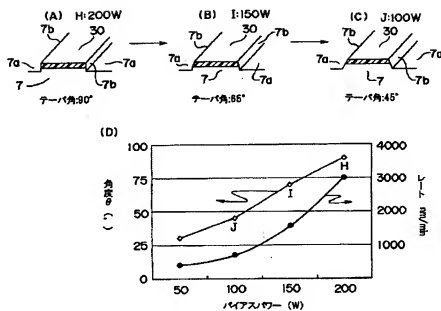
【図3】



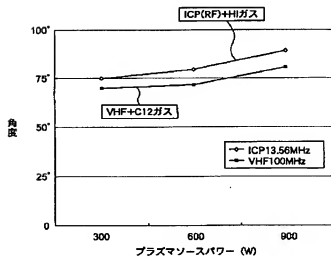
【図4】



【図5】

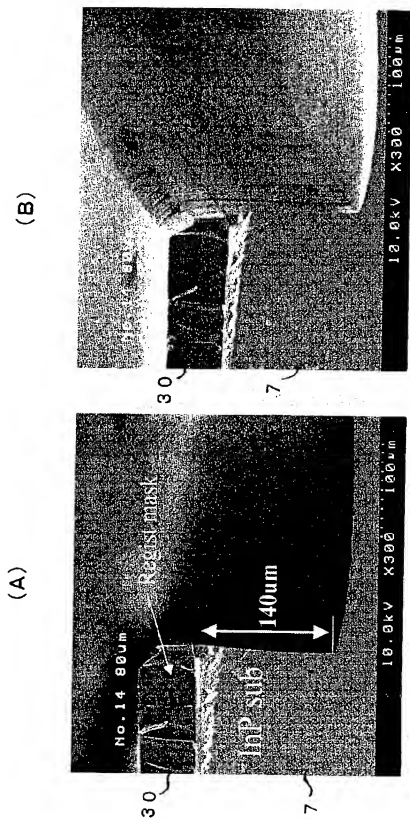


【図11】

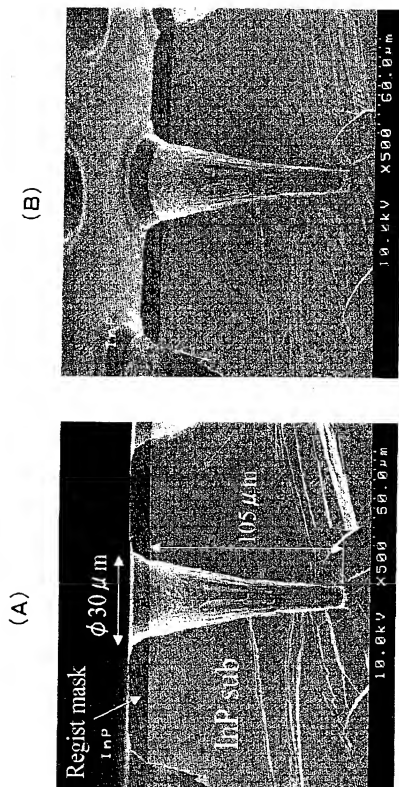




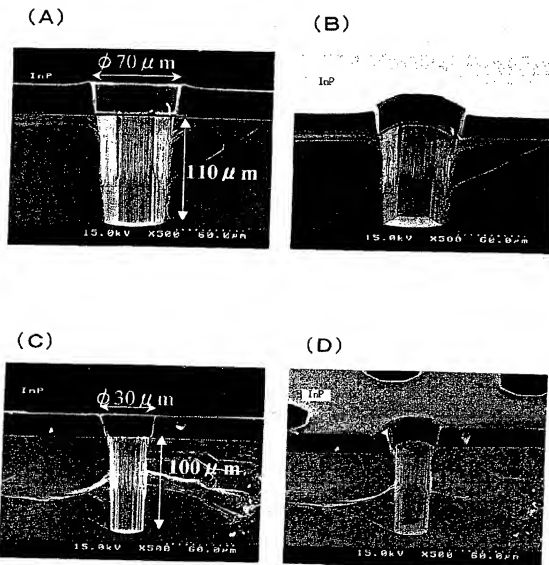
【図7】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 今井 宏  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

Fターム(参考) 5F004 AA03 AA11 BA04 BA20 BB13  
BB18 DA00 DA04 DA11 DB22